In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful













INTERACTION DES RAYONS X ET γ AVEC LA MATIÈRE

- L'intensité d’un faisceau X ou **γ** diminue à la traversée de la matière. Par interaction des photons incidents avec les électrons ou les noyaux, une partie de l'énergie du faisceau est transférée à la matière, une autre partie est diffusée dans une direction différente de celle de la radiation incidente.

I - Mécanismes d'interaction des photons X avec la matière

a) Effet photoélectrique L'énergie des photons X étant beaucoup plus grande, l'émission des photoélectrons se fera à partir des couches électroniques interne de l'atome, avec l'énergie $Ec = E - W_n$. W_0 est l'énergie de liaison de l'è. L'atome se trouve ionisé, l'ion est dans un état d'énergie excité ; la désexcitation se produit par transitions électroniques vers les couches les plus internes n, ces migrations s'accompagnant d'émission de photons de fluorescence d'énergie $\mathbf{E = W_n - W_{n'} = h\upsilon}$. Il peut arriver que l'énergie de fluorescence serve à expulser un électron d'une couche externe m, c'est l'effet Auger, l'électron ainsi émis ayant acquis l'énergie

$$\mathbf{E_c = (W_n - W_{n'}) - W_m.}$$

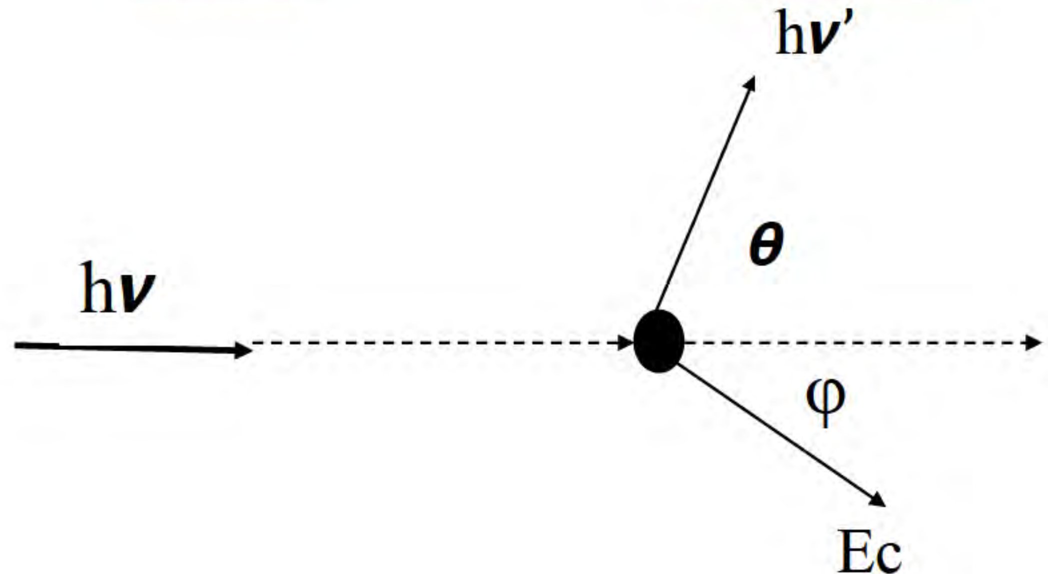
- b) **Effet Comton**

Si l'énergie des photons est très grande, comparée à l'énergie de liaison de l'électron, l'interaction photon-électron est alors un effet compton : expulsion d'un électron initialement au repos avec émission d'un photon diffusé dans une direction faisant un angle θ (angle de diffusion). L'électron heurté est considéré comme libre, son énergie de liaison W_n n'intervient pas.

$$\vec{p} = \overrightarrow{p'} + m\vec{v}$$

$E/c = E'/c \cos\theta + mv \cos\varphi$

$0 = E'/c \sin\theta - mv \sin\varphi$



En résolvant le système, la variation de longueur d'onde s'exprime.

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta) \text{ avec } \lambda_0 = 0{,}0242 \text{ Å}$$

$$tg\varphi = \frac{cotg\frac{\theta}{2}}{1 + \frac{h\nu}{E_0}}$$

Pour les photons de grande énergie E, une grande part de cette énergie est transférée à l'électron Compton; mais si E est faible, la presque totalité de cette énergie est emportée par le photon diffusé.

d) Autres types d’interactions

- --- Matérialisation : Un photon peut, dans le champ électrique d'un noyau, donner naissance à des particules matérielles, cette réaction obéissant aux lois habituelles des chocs relativistes :
- — diffusion thomson-Rayleigh, sans changement de longueur d'onde s'effectue dans toutes les directions et vaut surtout pour les photons de basse énergie.
- — réactions photonucléaires (voir "réactions nucléaires)

II- Atténuation des RX et ϒ

Des RX, d'énergie E, frappe un écran à raison de N_0 photons par seconde; la puissance incidente sur l'écran est $\varphi_0 = N_0$ E.

a) Loi de l'atténuation

Soit N le nombre des photons qui n'ont subi aucune des interactions énumérées précédemment, après avoir traversé une épaisseur x de matière. La probabilité que l'un de ces photons interagisse dans l'épaisseur dx est proportionnelle à dx et est assimilée à la fréquence des interactions des interactions.

$dN/N = -\mu \, dx$

$\mathbf{N = N_0 \, e^{-\mu x}}$ et $\Phi = \Phi_0 \, e^{-\mu x}$

- N/N_0 est la proportion des photons transmis sans interaction après traversée de L'épaisseur x de matière.
- On appelle atténuation la quantité

$$A = (1 - N/N_0) = 1 - e^{-\mu x}$$

b) Coefficient linéaire d'atténuation. (µ)

µ souvent exprimé en cm^{-1}, dépend de la nature de l'écran et de 1a réduction considérée .

c) Couche de demi atténuation (CDA)

Cette épaisseur entraîne une atténuation de 50% d'où :

$1-N/N_0 = 1-\exp(-\mu CDA) = ½$ → **CDA = (ln2)/µ**

d) coefficient massique d'atténuation $\mu/_\rho$

Alors que le coefficient linéaire varie selon l'état de compression de la matière, pour un écran de nature donnée, le coefficient massique d'atténuation (en cm^2/g) faisant intervenir la masse de matière rencontrée par unité de surface est pratiquement indépendant de l'état physique de cette matière.

LE NOYAU

1- structure du noyau

les nucléons : les protons p et les neutrons n

2- nomenclature

$^{A}_{Z}X$: atome dont le noyau comporte Z **protons** et (A−Z) **neutrons**

- Z = numéro atomique : nombre de protons
- A = nombre de masse = nombre de **nucléons** (détermine l'**isotope**)

Protons : charge électrique positive
Neutrons : pas de charge électrique
→ répulsion électrostatique entre protons
Nucléons liés par **interaction nucléaire forte** (très courte portée)
Les isotopes : nuclides de même Z
Les isobares : nuclides de même nombre de masse A
Isotones : nuclides de même nombre de neutrons (A-Z)
Isomères : nuclides de même A et Z (états d'énergie différents)

3- dimension du noyau

Le rayon du noyau est de l'ordre du fermi : 1fm = 10^{-15} m

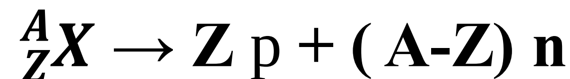
- **I- Energies mises en jeu dans le noyau**
- ***a) Énergie de masse du noyau***

$E = M_n c^2$, si M_n est 1a masse du noyau $^{A}_{Z}X$ considéré . Les masses, en physique nucléaire, s'expriment en unité de masse : **u**. C'est 1e douzième de 1a masse de l'atome de ^{12}C : 1 U = 1,660 10^{-27} kg .

- A cette masse, correspond une énergie :

$$1 \text{ u } c^2 = 931{,}5 \text{ MeV}$$

- ***b) Energie de liaison totale du noyau : L***
- L'énergie de liaison totale L, c'est l'énergie qu'il faut fournir au Noyau $^{A}_{Z}X$, pour séparer tous ses nucléons et les obtenir au repos.



$$^{A}_{Z}X \rightarrow \mathbf{Z}\ p + \mathbf{(A\text{-}Z)\ n}$$

La conservation de l'énergie totale donne :

$$M_n\, c^2 + \mathbf{L} = Z\, m_p\, c^2 + (A\text{-}Z)\, m_n\, c^2$$

A cette énergie de liaison totale L, correspond un défaut de masse Δm du noyau, par rapport à ses constituants pris séparément :

$$\Delta m = Z\, m_p + (A\text{-}Z)\, m_n - M_n$$

- Les tables donnent le plus souvent les masses des atomes correspondants. Si on néglige l'énergie de liaison des électrons mais pas leur masse :
- $M_a = M_n + Z\, m_e \rightarrow M_n = M_a - Z\, m_e$

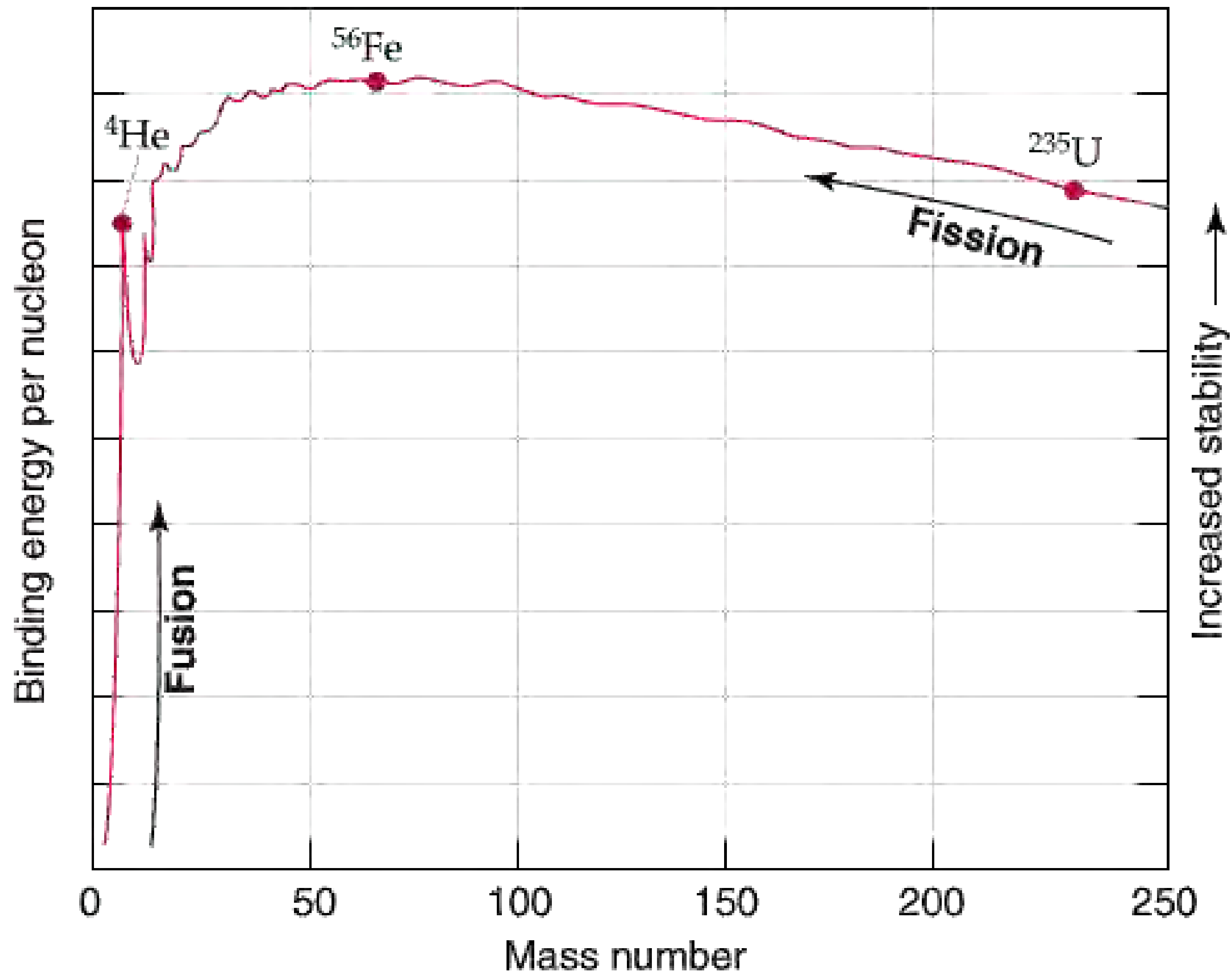
- $\mathbf{\Delta m = Z\,(m_p + m_e) + (A\text{-}Z)\, m_n - M_a}$

  $\mathbf{\Delta m = Z\, m_H + (A\text{-}Z)\, m_n - M_a}$

La masse d'un atome d'hydrogène étant pratiquement :
$m_H = m_p + m_e$ (car 13,6 eV est négligeable devant 0,51 MeV).
L'énergie de liaison L est d'autant plus grande que A augmente.

c) *Energie de liaison moyenne par nucléon : L/A*

- Pour comparer la stabilité des différents nuclides, on définit L/A, énergie de liaison moyenne par nucléon. Plus cette énergie est grande, plus le noyau considéré est stable.
- Pour la majorité des noyaux, l'énergie de liaison moyenne est comprise entre 7 et 9 MeV/nucléon, les nuclides les plus stables ayant environ 60 nucléons. On reconnait pour les éléments légers
- La courbe L/A en fonction de A laisse prévoir la réaction de fusion de noyaux légers et la réaction de fission de noyaux lourds, ces réactions conduisant à des noyaux plus stables.



^{56}Fe
^{4}He
^{235}U
Fission
Fusion
Binding energy per nucleon
Increased stability
0
50
100
150
200
250
Mass number

La radioactivité :une instabilité nucléaire

Stabilité des noyaux

Un atome donné peut avoir plusieurs isotopes

Les isotopes stables ont un nombre de neutrons :

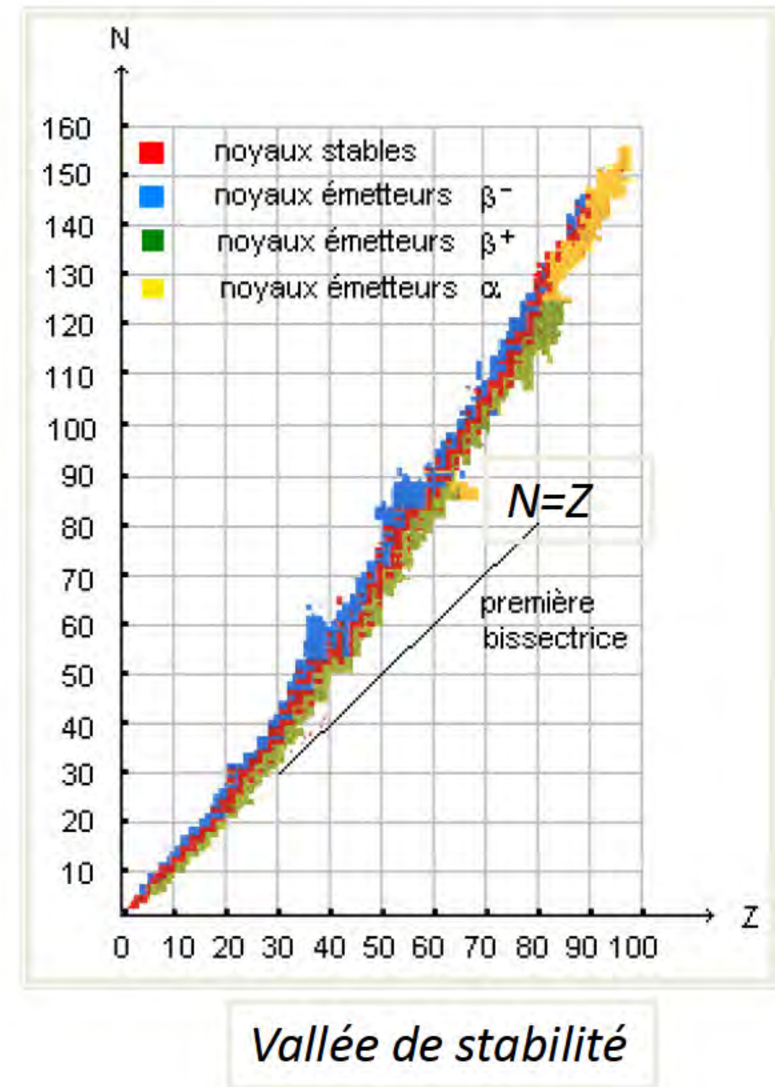
- ≈ égal au nombre de protons (noyaux légers) :

$$N = A - Z \approx Z$$

- en excès par rapport au nombre de protons (noyaux lourds)

$$N = A - Z > Z$$

Ils dessinent la **vallée de stabilité** dans le diagramme *N,Z*



Vallée de stabilité

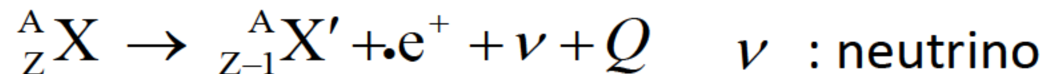
Réactions nucléaires

La courbe précédente est utilisée pour prévoir le type de désintégration d'un nucléide.

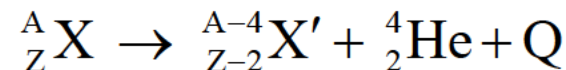
- Les isotopes instables situés au dessus sont riches en neutrons : émission de β^-.


$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X' + e^- + \bar{\nu} + Q \qquad \bar{\nu} \text{ : antineutrino}$$

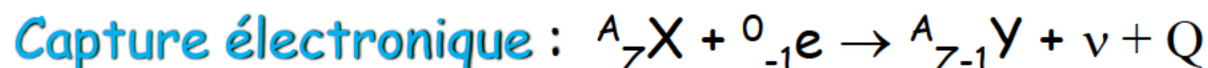
- Les isotopes instables situés au dessous sont riches en protons : émission de β^+ ou capture d'électron.


$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X' + e^+ + \nu + Q \qquad \nu \text{ : neutrino}$$

- Tous les noyaux de Z > 83 sont instables et radioactifs et se désintègrent par émission α.

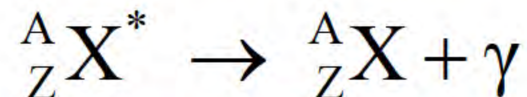

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X' + {}^{4}_{2}He + Q$$

- Autre type de désintégration : un noyau ayant un excès de proton


Capture électronique : $${}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \nu + Q$$

Radioactivité gamma γ

- Après une désintégration alpha ou bêta, un noyau peut se trouver dans un état excité
- **Le noyau se désexcite en émettant un photon gamma**



$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma $$

- Les particules α sont arrêtées par une simple feuille de papier
- Les particules β^- peuvent pénétrer 3 mm dans l'aluminium
- Les rayons γ peuvent traverser plusieurs cm de plomb

- 3 familles radioactives : Uranium-Radium; Thorium; Uranium-Actinium

➢ **La radioactivité artificielle (1934) : Désintégrations obtenues en laboratoire ou dans des réacteurs nucléaires**

- Certains noyaux, instables, donnent naissance à d'autres noyaux plus stables, par réaction nucléaire spontanée consistant en l'émission de particules matérielles, chargées ou non, et de photons très énergétiques.
- La loi de désintégration radioactive: si N est le nombre de noyau présents à l'instant t, la variation dN pendant dt est ; $dN = - \lambda N dt$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$ avec N_0 nombre d'atomes radioactifs initiaux

- demi-vie T ou période radioactive = durée nécessaire pour qu'un échantillon contenant N atomes radioactifs n'en contienne plus que N/2 : ($N/N_0 = 1/2$)

$$T = \frac{Ln2}{\lambda}$$

- Activité : nombre de désintégration par seconde . unité Becquerel (Bq)